

PREMESSA

Ogni invenzione o applicazione tecnologica avviene inizialmente per intuizione e solo successivamente viene compresa e definita in un razionale sistema scientifico che ne rende possibile il progressivo perfezionamento.

Così la prima rivoluzione industriale del 17°, 18° e prima metà del 19° secolo, non fu il prodotto dell'applicazione sistematica di rigorosi principi scientifici, ma piuttosto dell'immaginazione e dell'inventiva, spesso dilettesca, di artigiani e imprenditori di approssimativa preparazione teorica, mentre la scienza, coltivata da aristocratici e ricchi borghesi nelle accademie universitarie, era ancora lontana dalle applicazioni pratiche.

Solo alla fine del 19° secolo con l'avvio della seconda rivoluzione industriale, si iniziò ad applicare direttamente e sistematicamente le nuove scienze e tecnologie, all'alba dei loro stupefacenti progressi, nella produzione industriale e apparve una nuova figura professionale, precursore del moderno ingegnere, dotato di una approfondita istruzione fisico-matematica di tipo applicativo, orientata cioè, allo sviluppo di scienze e tecnologie di pratico utilizzo, ben lontana quindi da quella dello scienziato spinto alla pura ricerca del sapere e di conseguenza, dal punto di vista professionale, non alle dipendenze di università o istituti di ricerca, ma di clienti privati e aziende industriali.

Gli appartenenti a questa nuova professione acquisirono il titolo di **ingegnere**, termine che assunse un nuovo significato dalla precedente definizione di meccanici specializzati, macchinisti di locomotive a vapore e addirittura ufficiali di accademia e crearono nell'opinione collettiva l'immagine del moderno ingegnere come realizzatore del sogno illuminista e positivista, ovvero di un mondo retto dalla scienza che da strumento di pura speculazione diveniva in grado di piegare la natura ai fini umani risolvendone ogni problema, affrancando la società da ogni onere per un miglior tenore di vita e creando le condizioni per il raggiungimento di qualunque obiettivo sociale ed economico.

La sua formazione, basata sull'algoritmo ingegneristico, ovvero sulla metodologia relativa all'ipotesi di applicare la scienza alla risoluzione di problemi reali, si dimostrò una delle idee più rivoluzionarie e creative della storia umana che consentì in un secolo un progresso molto maggiore di quello avvenuto in tutta la precedente storia dell'umanità.

Attualmente tuttavia, la tecnologia in grado di assoggettare l'ambiente per il benessere di tutti, ha mostrato anche tutta la sua pericolosità e i suoi limiti, fino alla consapevolezza della sua capacità di fornire

all'uomo armi di autodistruzione e di definitivo deterioramento dell'ambiente. Da parte dell'opinione pubblica si è quindi assistito a un mutato atteggiamento e a un crescente declino di fiducia nei confronti di questo strumento, che ha messo in crisi anche la sua personificazione, ovvero l'immagine dell'ingegnere, che da figura di conquistatore della natura per il benessere della società, si è addirittura trasformato nel responsabile del pericolo e del degrado tecnologico e ambientale e imputato di non essere più in grado di risolvere ogni problema eliminando gli aspetti dannosi della tecnologia stessa e/o inventandone di nuove e più valide, nonchè di non riuscire a ottenere l'impossibile contemporanea ottimizzazione di fattori in evidente contrasto fra loro.

Inoltre nell'attuale mondo produttivo e nell'intera società, gli ingegneri come operatori di essenziale formazione tecnica, da ruoli centrali in tutta la fase di industrializzazione, tendono a occupare posizioni subordinate a esperti di materie finanziarie e legali ritenuti di mentalità più aperta e idonea della rigida logica matematica, alla complessità del sistema sociale e talvolta di minore prestigio anche rispetto a figure ibride di tecnici amministrativi o gestionali, per cui l'originale figura dell'ingegnere, (e in particolare dell'ingegnere impiantista meccanico), e la formazione impartita nelle facoltà di ingegneria, è stata messa in discussione più in base cioè, al livello di carriera e di potere raggiungibile dagli ingegneri in campo industriale, sociale, intellettuale e persino politico, che al reale valore della cultura proposta.

Il ruolo dell'ingegnere è invece e comunque, quello di progettista e costruttore di apparecchiature, impianti, direttore di cantieri, di formazione fondamentalmente tecnica e di preparazione in campo economico relativa all'ottimizzazione dei costi di investimento ed esercizio di ogni sua realizzazione, come parte integrante del progetto.

I suoi campi di intervento sono quindi quelli risolvibili con le tecniche scientifiche, mentre quelli incommensurabili che non possono, cioè, essere quantificati, tradotti e risolti in termini matematici, (psicologici, politici, legali, etici, culturali, organizzativi), o che risultano in conflitto fra di loro, (sicurezza, affidabilità, costi, prestazioni, riproducibilità, accettazione del mercato, concorrenza), non possono essere appannaggio solo degli ingegneri, ma richiedono l'apporto di specialisti di natura non tecnica, (finanziari, esperti di ricerche di mercato, venditori, addetti alle pubbliche relazioni, politici, legali).

Ora nel sistema attuale le realizzazioni tecniche non sono più separate dal mondo in cui si inseriscono, ma interconnesse all'intero sistema sociale con tutte le sue variabili, che a sua volta non è più esterno al gruppo di lavoro, ma vi fa parte divenendo, anzi, esso stesso l'ambiente

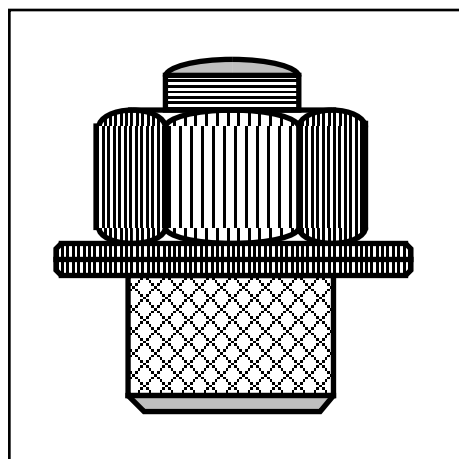
di lavoro, mentre i sistemi tecnologici, da realizzazioni di livello locale, hanno interconnessioni e ripercussioni sempre più ampie fino a un impatto mondiale.

Si impone pertanto un gruppo di lavoro misto con l'originale ingegnere solista, professionista indipendente o alle dipendenze di piccole imprese o nei reparti di ricerca e sviluppo di grandi aziende, già sostituito da gruppi coordinati e interattivi di ingegneri specialisti essendo i prodotti da realizzare sempre più complessi e interdisciplinari, affiancato da esperti di altri campi non tecnici, mentre è ingiusta e insensata, (nonchè curiosa essendo rivolta solo agli ingegneri), l'attuale imposizione di funzioni e responsabilità in tutti i campi collaterali allo sviluppo tecnologico della società di cui si occupa e un di ruolo omnicomprensivo che travalica il suo peculiare compito tecnico-economico.

Anche se sarebbe banalmente auspicabile che ogni tecnico avesse approfondite conoscenze anche del mondo extrascientifico, ovvero dei contesti umani, sociali, politici, legali del sistema tecnologico ingegneristico in cui opera, (così come ovviamente l'opposto), non è la formazione dell'ingegnere che non è più appropriata al mondo produttivo e quindi da rivedere, (il problema è semmai l'aggiornamento alla costante esplosione delle conoscenze), ma è del termine stesso di ingegnere, attualmente così di moda, che si fa un grande abuso attribuendogli specifiche estranee al suo ruolo tecnico o storpiandone il significato fino al controsenso di definire ingegneri esperti di materie, (come l'informatica o le discipline gestionali), assolutamente estranee alle sue caratteristiche peculiari.

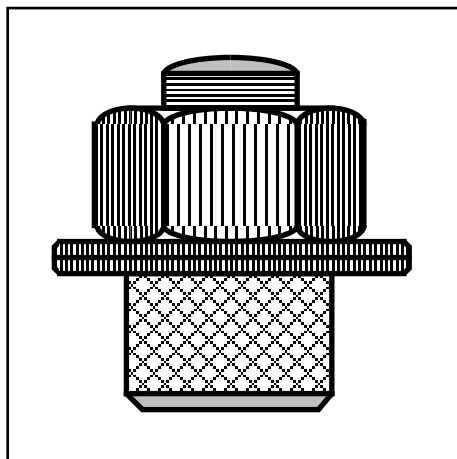
In sostanza escludendo la pessima scelta delle figure ibride, alle quali è poi comunque richiesta una successiva specializzazione in uno dei campi affrontati sommariamente con ulteriore spreco del già critico tempo formativo, una nuova figura professionale responsabile delle valutazioni relative alla convenienza, ubicazione, dimensione, interconnessione, impatto umano, sociale, politico, legale di un certo sistema tecnologico produttivo, necessità più di una formazione in scienze umanistiche e sociali che di conoscenze scientifiche.

Pertanto anche se è certamente utile, certamente non è un ingegnere.



Parte I°

Fondamenti di impiantistica meccanica



CAP.I°.1 – ANALISI DEGLI IMPIANTI.

§ I°.1.1 – DEFINIZIONE DEGLI IMPIANTI.

Nel campo delle attività scientifiche è sempre possibile distinguere un'area a carattere speculativo da una a carattere realizzativo.

In campo tecnico, appartengono alla prima gli elaboratori di linguaggio, (matematici, logici, analisti, programmatori, ecc.), che in maniera del tutto ideale costruiscono regole di procedimento logico o metodologie di processo, nonché gli studiosi di leggi fisiche, (fisici, chimici, fisici tecnici, ecc.), che esaminano il comportamento e la struttura naturale, astraendone leggi di carattere generale.

Le teorie elaborate, in grado di descrivere il comportamento del mondo fisico espresso in linguaggio matematico, costituiscono gli strumenti di valutazione ed elaborazione quantitativa e dimensionale degli appartenenti alla seconda area, (realizzativa), intesi come "ingegneri" in senso lato, ovvero realizzatori di apparecchiature, macchine, impianti o costruzioni in generale, volte all'ottenimento di prodotti o servizi, o di un qualche effetto utile.

Nell'ambito dell'ingegneria meccanica, (che nella sua più generale denominazione di industriale può ritenersi comprensiva anche delle sezioni nucleare, aeronautica, navale, trasporti, ecc.), è d'uso distinguere una sezione "fredda" relativa alla progettazione e costruzione di apparecchiature intese come insiemi di elementi statici o cinematici in condizioni di carico dinamico, dalla sezione "calda" relativa alla progettazione e costruzione di macchine intese nella loro complessità funzionale e nelle quali operano generalmente fluidi che realizzano trasformazioni e scambi di energia in forma termica e/o meccanica.

Si definiscono impianti meccanici, (e analogamente impianti di altra natura: elettrici, chimici, nucleari, ecc), gli insiemi discreti di macchine, apparecchiature e circuiti, volti alla produzione, o trasformazione, o distruzione, di beni o servizi con impiego di materie prime, energia, manodopera, eventualmente semilavorati.

L'impiantistica meccanica pertanto, risulta una disciplina trasversale, come insieme di tutte quelle relative alla progettazione, realizzazione e gestione dei relativi sistemi.

L'attributo industriale che spesso accompagna le definizioni, lungi dal assumere significati sostantivali, si contrappone unicamente agli attributi domestico o artigianale, identificando sistemi generalmente di significativa taglia o potenzialità, definiti, progettati, realizzati e ottimizzati in senso tecnico ed economico in ogni loro sezione da operatori specializzati in base a modelli matematici rigorosi, a differenza degli impianti di piccola taglia per utilizzo personale, (domestico o artigianale), di tipica progettazione e costruzione approssimativa, realizzata in genere da semplici artigiani installatori.

§ I° 1.2 – LA PROGETTAZIONE DEGLI IMPIANTI.

Essendo ogni sistema impiantistico un particolare insieme complesso la cui analisi comprende discipline diverse, il relativo studio richiede una specifica trattazione, mentre, al contrario, la definizione di una disciplina di carattere generale, richiede l'impostazione di criteri generali di analisi e progettazione.

Per l'impostazione di principi generali, o fondamenti di impiantistica meccanica, innanzitutto si ha che, nonostante la progettazione impiantistica si basi su nozioni di fisica, fluidodinamica, fisica tecnica, termodinamica, meccanica applicata, macchine, di enorme vastità e possibilità di approfondimento, è tuttavia generalmente sufficiente impiegare una serie basilare di relazioni e modelli che possono essere specificati e schematizzati preventivamente per tutto il successivo impiego.

Fissati questi criteri generali di progettazione si ha che qualunque impianto o servizio è comunque composto, nella sua essenza tecnica e a meno dello specifico fine globale e di ogni suo elemento, da uno o più circuiti comprendenti macchine e apparecchiature per lo scambio di energia termica e/o meccanica e da un insieme di collegamenti per la circolazione di fluidi, a formare un sistema "termofluidodinamico", ovvero di scambio di energia e di massa che costituisce, quindi, l'elemento di base per l'analisi generale dell'impiantistica meccanica, (il circuito termofluidodinamico si distingue dal circuito termodinamico per l'assenza di trasformazioni di conversione energetica che richiedono l'impiego di macchine motrici a fluido).

Infine risulta possibile considerare ogni impianto come costituito da sottoinsiemi passibili di analisi comune.

Infatti ogni impianto comunque complesso, è generalmente costituito da un centro di lavorazioni specifiche caratterizzanti l'impianto stesso e da diversi sottoinsiemi atti a creare un certo numero di servizi ausiliari al ciclo principale, detti servizi generali di impianto, che possono essere trattati in forma generale come elementi a sè stanti indipendentemente dal particolare utilizzo dei loro prodotti o servizi negli impianti in cui sono inseriti.

La tecnica tuttavia, non è generalmente in grado di definire univocamente nè il tipo di sistema, nè il valore dei relativi parametri, essendo possibile soddisfare le specifiche di progetto con diversi sistemi e per ogni sistema, con una infinità di insiemi di valori, (o in pratica con un insieme finito di valori commerciali), dei relativi parametri.

Poichè tuttavia il fine ultimo della progettazione impiantistica non è semplicemente la realizzazione di sistemi in grado di soddisfare le specifiche richieste, ma quello di ottenerle con il minimo impiego di risorse umane, di materie prime, di energia e con il minimo impatto e degrado ambientale, è necessaria una preventiva analisi comparativa dei diversi sistemi in grado di fornire i medesimi prodotti o servizi, nonchè l'ottimizzazione degli stessi con la scelta dell'insieme ottimale dei parametri costruttivi e di esercizio nell'ambito dei gradi di libertà sempre presenti in ogni realizzazione.

A seconda del particolare effetto conservativo richiesto però, sono possibili tanti diversi tipi di analisi comparative e ottimizzazioni che necessitano di una analisi particolare in ogni situazione.

Esiste, tuttavia, un parametro che a meno delle, (numerose), influenze politiche e commerciali, costituisce comunque una misura globale di tutti gli oneri umani, materiali, energetici e ambientali necessari alla realizzazione ed esercizio di un qualunque sistema impiantistico: il suo costo economico.

Risulta pertanto essenziale in ogni analisi impiantistica, la valutazione e l'ottimizzazione economica dei sistemi considerando l'onere economico come parametro di raffronto di sistemi diversi, ovvero la variabile da minimizzare in ogni progetto e l'economia dell'ingegneria come criterio suppletivo di dimensionamento relativo, (e limitato), al livello oltre il quale la tecnica non è in grado di proseguire fino a una scelta definita, per mancanza di criteri di merito fra soluzioni e parametri di effetto paritario.

Pertanto l'essenza di ogni progetto di un qualunque impianto o apparecchiatura, risulta l'eliminazione di ogni valore casuale o arbitrario di tutte le grandezze, che in assenza di gradi di libertà del sistema fisico, risultano definite da relazioni tecniche di

dimensionamento, mentre in caso di presenza di gradi di libertà, i valori non imposti univocamente dalla tecnica, derivano dall'ottimizzazione economica, (o di eventuali altri specifici criteri), dei relativi parametri.

Una tale analisi razionale degli impianti comprende pertanto, una parte iniziale composta da sezioni volte alla definizione dei principi tecnici ed economici e degli strumenti di valutazione e ottimizzazione generale di ogni sistema.

Segue una seconda parte relativa al dimensionamento dell'intero circuito termofluidodinamico, comprendente le apparecchiature di scambio energetico.

Essendo tale struttura comune di ogni impianto, un insieme di linee fluidodinamiche per la circolazione di fluidi in ciclo aperto o chiuso con scambi di massa e di energia in forma termica e/o meccanica in apposite sezioni a meno delle inevitabili degradazioni energetiche di tipo dissipativo, può essere analizzata, a meno di ogni applicazione particolare e utilizzo, in forma generale nelle sue sezioni essenziali suddividendone l'analisi e il dimensionamento in:

- calcolo delle apparecchiature per lo scambio di energia meccanica;
- calcolo delle apparecchiature per lo scambio di energia termica;
- calcolo fluidodinamico del circuito per lo scambio di massa e di energia.

Sulla base comune di questi sistemi fondamentali, segue la trattazione dei principali servizi generali di impianto, (approvvigionamento e trattamento di acqua, produzione di aria compressa, vapore per uso tecnologico e relativi sistemi di accumulo e distribuzione), e una ultima parte, in cui si prendono in esame gli impianti meccanici di carattere più generale, (produzione di energia termica, frigorifera e meccanica/elettrica, cogenerazione di potenza termica e meccanica/elettrica e di potenza frigorifera e meccanica/elettrica), che per la loro generalità risultano comuni alla maggior parte dei sistemi complessi.

Risulta inoltre evidente che non è compito dell'implantistica in generale, (né sarebbe possibile per motivi di spazio e di tempo), prendere in esame i dettagli progettuali e costruttivi di ogni singolo elemento o sistema più complesso, se non nell'ambito delle logiche delle sue funzioni, anche tenuto conto della enorme varietà tipologica degli impianti e dei relativi campi professionali, mentre tali caratteristiche oltre a risultare costantemente variabili col progresso tecnico, non richiedono particolari conoscenze teoriche e possono essere

immediatamente apprese e aggiornate nella pratica lavorativa di ogni operatore.

§ I°.1.3 – UNITA' DI MISURA.

Anticamente il possesso e la gestione dei campioni di misura e la loro unificazione era segno di potere per le case regnanti che in base a questi detenevano il controllo dei commerci, delle dogane, delle rotte intercontinentali e della nascente industria.

Gli ostacoli al progresso insiti nella diversità dei campioni nazionali furono denunciati per primi dagli illuministi del XVIII secolo e a partire dalla rivoluzione francese si avviò l'internazionalizzazione delle misure e l'istituzione del sistema metrico decimale, in linea con le nuove idee politiche di democrazia e uguaglianza, ovvero che potesse essere possibile per chiunque disporre dei campioni senza alcuna autorità costituita che li custodisse in regime di monopolio.

Per questo il metro, (che era stato definito anche come la lunghezza di un pendolo che dà una vibrazione al secondo, pari a 0,9939 m), fu definito, (1793), come la quarantamilionesima parte del meridiano terrestre passante per Barcellona e Dunkerque, quindi nel 1799 venne realizzato un prototipo di platino-iridio conservato al Bureau International des Poids et Mesures a Sèvres, munito di due facce piane distanti un metro alla temperatura di 0°C.

Nel 1960 il metro fu ridefinito come 1.650.763,63 lunghezze d'onda nel vuoto della radiazione corrispondente alla transizione fra i livelli 2p₆ e 3d₁₀ del cripto 86, (1s² 2s² 2p⁶ 3s² 3p⁶ 3d¹⁰ 4s² 4p⁶), e infine nel 1983 come la distanza percorsa dalla luce nel vuoto in 1/299.792.485 s.

La data ufficiale dell'inizio della globalizzazione delle misure è il 20 maggio 1875 con la nascita della multinazionale delle misure, (Convenzione del Metro, il trattato col quale i membri si impegnano ad adottare il Sistema Metrico Decimale), cui dagli iniziali 16 paesi, (fra cui l'Italia), aderiscono attualmente 48 nazioni allo scopo di sviluppare i nuovi settori di misura e realizzare la metrologia globale al servizio del commercio globale, in modo che le caratteristiche di ogni prodotto, di precisione necessariamente crescente con il progresso delle tecnologie, possano essere misurate una sola volta con risultati validi come garanzia, in qualunque mercato mondiale.

Attualmente non vi è più alcun interesse al possesso e al controllo dei campioni di misura e il solo campione materiale è quello di massa, (un cilindro di platino-iridio conservato al Bureau International des Poids et Mesures a Sèvres, (Parigi), con copie ufficiali depositate presso gli

Stati aderenti alla Convenzione del Metro, (che differiscono in realtà dal campione per alcune decine o centinaia di ng), mentre tutte le altre unità di misura fondamentali sono ottenibili in rapporto a costanti naturali riproducibili in laboratorio con estrema precisione.

Un **sistema** di **unità** di **misura** è composto da un insieme di unità **fondamentali** dotate cioè, oltre che delle caratteristiche di accessibilità, universalità, uniformità e perennità, (ovvero reperibilità e costanza in ogni luogo e tempo), quelle di indipendenza, (non esprimibili in funzione di altre grandezze fondamentali), e completezza, (possibilità di espressione di tutte le altre grandezze in base a quelle fondamentali), valutabili direttamente solo per confronto con campioni materiali, o con relazioni funzioni di costanti fisiche, determinati e caratteristici del sistema stesso e da un insieme di unità **derivate**, ottenibili da definizioni ed espressioni di leggi fisiche che le legano alle unità fondamentali con relazioni del tipo:

$$D_{di} = k \prod_{j=1}^n D_{fj}^{a_{ij}},$$

ove: **D_{di}** **i**esima unità di misura derivata;
k costante di proporzionalità;
n numero di unità fondamentali del sistema;
D_{fj} **j**esima unità di misura fondamentale;
a_{ij} dimensione della **j**esima unità fondamentale nella espressione dell'**i**esima unità derivata.

Nel caso in cui sia: **k = 1**, il sistema si dice **coerente**.

Il numero di grandezze fondamentali necessario alla descrizione di tutti i fenomeni in ogni campo della scienza è **sette**: dimensioni, (o in pratica lunghezza), evoluzione dei fenomeni, (tempo), inerzia dei corpi, (massa o peso), energia interna o di agitazione termica della materia, (temperatura), grandezze elettromagnetiche, grandezze fotometriche quantità di materia, più **due** unità supplementari per la misura degli angoli, (piani e solidi), da cui possono ricavarsi più di un centinaio di unità derivate.

Storicamente si sono succeduti, (e sovrapposti fino a oggi), diversi sistemi di unità di misura, (mks, cgs, tecnico, britannico, simmetrico di Gauss), in diverse versioni e con presenza di varie unità di misura ibride per diverse unità derivate, fino alla razionalizzazione e unificazione globale compiuta nel 1960 con l'introduzione del Sistema Internazionale, (**SI**), che oltre a tutta una serie di regole formali, (i simboli delle unità di misura sono previsti solo dopo valori numerici senza punto di abbreviazione e in maiuscolo in caso derivino da nomi

di studiosi e minuscolo in caso contrario, mentre in tutti gli altri casi devono essere scritte per esteso in minuscolo, ecc.), prevede per le grandezze fondamentali:

Grandezza fondamentale Unità di misura

Lunghezza	metro, (1)
Tempo	secondo, (2)
Massa	kilogrammo, (o bes), (3)
Temperatura	kelvin, (4)
Corrente elettrica	ampere, (5)
Intensità luminosa	candela, (6)
Quantità di materia	mole, (7)
Angolo piano	radiante
Angolo solido	steradiano

(1) Distanza percorsa dalla luce nel vuoto in $1/299.792.458$ s.

(2) $9.192.631.770$ periodi fra due transizioni elettroniche del Cs 133.

(3) Massa del campione di platino iridio conservato presso L'Ufficio Internazionale dei Pesi e delle Misure di Sèvres, (Parigi).

Si tratta dell'unica unità di misura ottenibile soltanto per confronto con un campione materiale e quindi non invariabile e pertanto soggetta a diverse proposte per ottenerne una definizione funzione di una costante naturale..

(4) $1/273,16$ della differenza di temperatura fra lo zero assoluto e il punto triplo dell'acqua.

(5) Corrente continua che, fra due conduttori posti a distanza di un metro nel vuoto, genera una forza di $2 \cdot 10^{-7}$ N per metro di conduttore.

(6) Intensità luminosa di una radiazione monocromatica di $540 \cdot 10^{12}$ Hz, pari a $1/683$ W per steradiano,

(7) Atomi contenuti in $0,012$ kg di carbonio 12.

In realtà l'ampere, la candela e la mole sono grandezze dipendenti potendo essere definite in base alle altre quattro, mentre quelle supplementari, (angolo piano e solido), sono unità derivate e quindi dal 1995 soppresse dall'elenco delle fondamentali.

Sono infine ammessi, (e codificati), solo multipli e sottomultipli decimali per disporre di cifre, (dall'astronomia alla fisica delle particelle), a "misura d'uomo", evitando cifre decimali ed esponenziali di meno immediata comprensione:

Multiplo	Fattore	Simbolo	Sottomultiplo	Fattore	Simbolo
deca	10^1	da	deci	10^{-1}	d
hecto	10^2	h	centi	10^{-2}	c

kilo	10 ³	k	milli	10 ⁻³	m
mega	10 ⁶	M	micro	10 ⁻⁶	m
giga	10 ⁹	G	nano	10 ⁻⁹	n
tera	10 ¹²	T	pico	10 ⁻¹²	p
peta	10 ¹⁵		femto	10 ⁻¹⁵	
exa	10 ¹⁸		atto	10 ⁻¹⁸	
zetta	10 ²¹		zepto	10 ⁻²¹	
yotta	10 ²⁴		yocto	10 ⁻²⁴	

(gli ultimi quattro dai nomi greci dei numeri: 5, 6 , 7 e 8).

Nel campo della meccanica risultano essenziali, (oltre la temperatura), sostanzialmente **tre** grandezze fondamentali, (dimensioni, tempo e inerzia).

A meno della razionalizzazione del **SI**, i vari sistemi di unità di misura che ancora sopravvivono e con cui è quindi inevitabile confrontarsi, hanno in comune come grandezze fondamentali la **lunghezza** e il **tempo**, con il metro, (o sottomultipli), e il secondo, campioni unitari adottati quasi universalmente, ovvero grandezze dell'ordine delle dimensioni corporee umane e dei relativi tempi, (il battito cardiaco), caratteristici, (più anticamente sono state adottate come unità di misura di lunghezza addirittura dimensioni specifiche nominali di parti corporee come le "braccia" e gli ancora attuali "piedi" e "pollici" dei sistemi britannici, così come la "yard" corrispondente alla distanza nominale fra la punta del dito del braccio teso e quella del naso).

Circa la definizione della terza grandezza fondamentale, (inerzia), si distinguono, invece, due categorie di sistemi:

- a) sistemi che assumono come grandezza fondamentale la **forza**;
- b) sistemi che assumono come grandezza fondamentale la **massa**.

Per la legge di gravitazione universale la massa del pianeta terra, (**M_T = 5,972 10²⁴ kg**), crea, (come ogni massa), un campo di forze attrattive su ogni altro corpo massivo, (**m**), di intensità, al di fuori dei corpi, direttamente proporzionale alle masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza, (**R**), dei relativi baricentri:

$$G \frac{mM_T}{R^2}, \quad (G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{m^3}{kgs^2}, \text{ costante di gravitazione universale}).$$

La forza gravitazionale risulta quindi costante su ogni superficie sferica di centro in quello di massa e in particolare sulla superficie esterna, in

caso di corpo celeste perfettamente sferico e omogeneo e decrescente con l'inverso del quadrato della distanza, annullandosi solo all'infinito.

La seconda legge della dinamica fissa la proporzionalità fra ogni forza applicata su di un corpo e una corrispondente accelerazione impressa, pertanto alla forza gravitazionale attrattiva, (peso), sulla superficie terrestre: $G \frac{mM_T}{R_T^2}$, ($R_T = 6,373 \cdot 10^6$ m, raggio terrestre medio),

corrisponde una accelerazione g , (di gravità), parimenti costante in ogni punto della superficie, ottenibile dalla relazione $G \frac{mM_T}{R_T^2} = mg$, da cui:

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2} = G \frac{\frac{4}{3} \pi d_{st} R_T^3}{R_T^2} = G \frac{4}{3} \pi d_{st} R_T = 9,8066 \text{ m/s}^2, \text{ che permette}$$

anche di calcolare la densità media della terra: $d_{st} = 5.507,57 \text{ kg/m}^3$.

Ne risulta pertanto, la possibilità di definire le caratteristiche di inerzia di ogni corpo riferendosi indifferentemente alla sua caratteristica inerziale intrinseca, (massa), o all'effetto derivato su tale massa dall'attrazione gravitazionale terrestre, (forza peso).

In realtà tuttavia, oltre alla particolarità planetaria terrestre della definizione di peso, (di decrescente fondamentale con l'inizio dei viaggi spaziali), l'accelerazione di gravità e quindi il peso di un corpo, non appaiono univoci in funzione del tempo, della posizione geografica e delle condizioni astronomiche e atmosferiche richiedendo quindi, corrispondenti indicazioni suppletive.

La terra infatti, non risulta perfettamente sferica, (il solo schiacciamento del diametro polare rispetto a quello equatoriale, di circa 42 km, causa una riduzione di circa lo 0,2% dell'accelerazione di gravità), la distribuzione di masse e quindi di densità al suo interno e sulla sua superficie, (maggiore in presenza di catene montuose, di acqua liquida rispetto ai ghiacci, ecc.), non sono uniformi.

Ulteriori variazioni sono imputabili a fenomeni di subduzione variabili nel tempo, alla spinta di Archimede esercitata sui corpi immersi nell'atmosfera variabile con la densità dell'aria, all'effetto delle forze di marea della luna e del sole, (pari a circa la metà di quelle lunari), variabili durante il giorno e l'anno per l'eccentricità dell'orbita terrestre e lunare, a movimenti e correnti di masse d'acqua sulla superficie terrestre, a circolazione di fluidi all'interno della crosta terrestre, a

scambi di massa tra oceani e atmosfera, nonché all'evoluzione dei ghiacci polari.

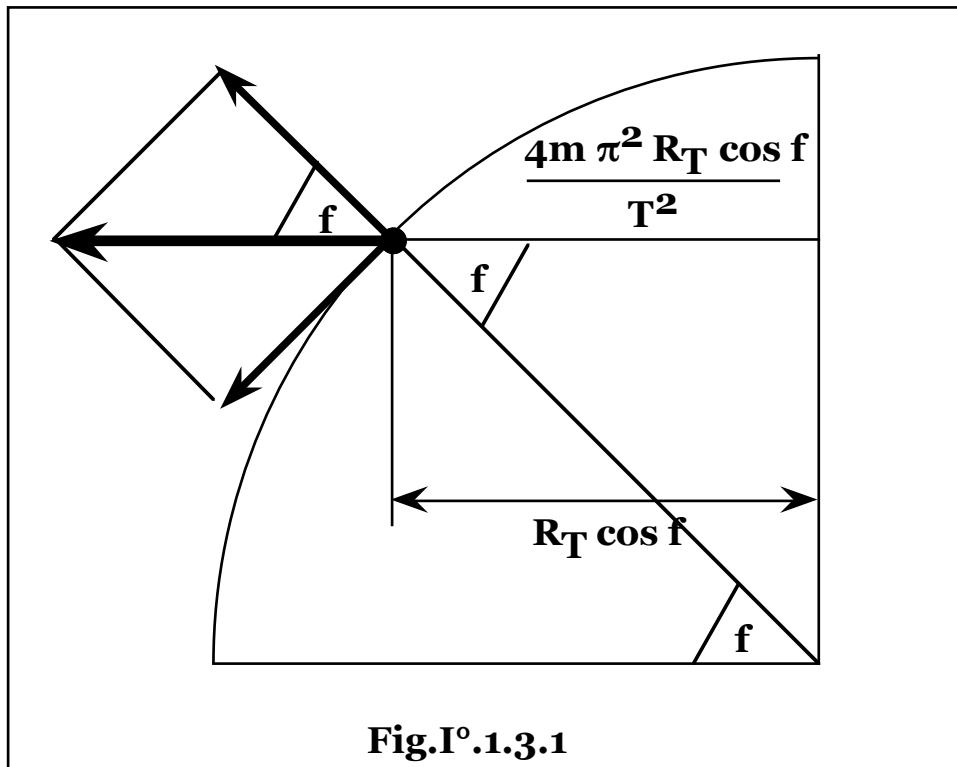
Infine, ulteriori disuniformità sono dovute alla variazione con la latitudine della forza centrifuga indotta dalla rotazione terrestre e le forze centrifughe associate ai moti orbitali terra-sole e terra-luna, (la mappatura della forza gravitazionale terrestre è attualmente ottenuta tramite l'analisi della distanza fra satelliti che in presenza di variazioni gravitazionali subiscono variazioni orbitali).

Circa l'effetto della rotazione della terra, la velocità della superficie terrestre risulta, (**Fig.I°.1.3.1**): $\mathbf{v} = 2\pi\mathbf{R_T}\cos\mathbf{f}/\mathbf{T} = 464,7476 \cos\mathbf{f} \text{ m/s}$, con \mathbf{f} latitudine e \mathbf{T} periodo di rotazione, (giorno siderale medio pari a **86.164,0905 s**), da cui una forza centrifuga:

$$\mathbf{mv}^2/(\mathbf{R_T}\cos\mathbf{f}) = 4\mathbf{m}\pi^2\mathbf{R_T}\cos\mathbf{f}/\mathbf{T}^2,$$

perpendicolare all'asse di rotazione, scomponibile in una componente: $(\mathbf{mv}^2/\mathbf{R_T}\cos\mathbf{f}) \sin\mathbf{f} = 4\mathbf{m}\pi^2\mathbf{R_T}\cos\mathbf{f}\sin\mathbf{f}/\mathbf{T}^2$, in direzione parallela alla superficie e diretta verso l'equatore e in una componente: $(\mathbf{mv}^2/\mathbf{R_T}\cos\mathbf{f}) \cos\mathbf{f} = 4\mathbf{m}\pi^2\mathbf{R_T}\cos^2\mathbf{f}/\mathbf{T}^2$, nella direzione della forza peso, con valore massimo all'equatore, $(4\mathbf{m}\pi^2\mathbf{R_T}/\mathbf{T}^2)$, per cui l'accelerazione di gravità è diminuita del termine centrifugo, $(4\pi^2\mathbf{R_T}\cos^2\mathbf{f}/\mathbf{T}^2)$, con valore massimo all'equatore:

$$\mathbf{v}^2/\mathbf{R_T} = 4\pi^2\mathbf{R_T}/\mathbf{T}^2 = 0,03389 \text{ m/s}^2 = 0,00345583 \text{ g}.$$



Anche la rivoluzione della Terra intorno al Sole comporta una accelerazione: $v^2/r = (2\pi L/T)^2/L = 0,00593 \text{ m/s}^2 = 6 \cdot 10^{-4} \text{ g}$, ($L = 149.597.870.000 \text{ m}$ distanza media Terra Sole, $T = 31.556.926 \text{ s}$, periodo di rivoluzione), corrispondente a circa il **17,6 %** di quella indotta dalla rotazione terrestre, con doppio effetto sul peso dei gravi fra corpi posti all'interno e all'esterno della traiettoria.

Il rapporto fra l'accelerazione centrifuga massima: $v^2/R_T = 4\pi^2 R_T/T^2$ e gravitazionale sulla superficie di un corpo massivo rotante:

$$g = G \frac{M_T}{R_T^2} = \frac{G}{R_T^2} \frac{4}{3} \pi R_T^3 d_{st} = G \frac{4}{3} \pi R_T d_{st},$$

risulta: $\frac{3\pi}{G T^2 d_{st}}$, indipendente dalle dimensioni del corpo.

Imponendo la condizione limite, ovvero un'accelerazione centrifuga massima pari a quella di gravità, (peso nullo all'equatore):

$v^2/R_T = (2\pi R_T/T)^2/R_T = 4/3 G \pi R_T d_{st} = g$, si ottiene un periodo:

$T = 2\pi \sqrt{\frac{R_T}{g}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G d_{st}}} = 5.065 \text{ s} = 1 \text{ h } 24' 25''$, pari a circa 1/17 di quello terrestre.

Fissata la densità, (d_{st}), di un corpo rotante, questo può quindi esistere a qualunque dimensione, (R_T), col solo limite per il periodo di rotazione

$$T \geq \sqrt{\frac{3\pi}{Gd_{st}}}, \text{ (o velocità angolare: } \frac{2\pi}{T} \leq 2\sqrt{\frac{\pi Gd_{st}}{3}}), \text{ relativo alla}$$

condizione in cui i corpi posti sulla linea equatoriale, (alla massima velocità periferica e quindi accelerazione centrifuga), si trovino "in orbita" sulla superficie, ovvero dotati di una accelerazione centrifuga pari a quella gravitazionale, oltre il cui limite ogni particella avrebbe una accelerazione centrifuga maggiore di quella gravitazionale e abbandonerebbe il corpo.

Alternativamente fissato il periodo di rotazione, si ottiene, (per qualunque dimensione), una condizione limite per la densità del corpo

rotante: $d_{st} \geq \frac{3\pi}{GT^2}$, pari a: **18,93 kg/m³**, pari a circa 1/291 di quella terrestre.

La forza gravitazionale in ogni punto entro un corpo massivo, deriva dalla forza di attrazione della sola massa più interna rispetto al baricentro rispetto al punto, essendo nulla, (teorema di Gauss), l'azione della massa esterna.

In caso ideale di sferosimmetria geometrica e massiva, il campo gravitazionale, (forza per unità di massa), a distanza **r** dal centro,

$$\text{risulta quindi: } \frac{Gm(r)}{r^2} = \frac{Gd_s \frac{4}{3}\pi r^3}{r^2} = \frac{4}{3} Gd_s \pi r = \frac{g}{R_T} r, \text{ mantiene, cioè,}$$

la direzione verso il centro decrescendo linearmente fino ad annullarsi, (al centro per ogni particella massiva che attiri in direzione radiale verso l'esterno, ve ne è una simmetrica che attira in direzione opposta con pari intensità e con risultante nulla).

Pertanto nel caso ipotetico di un foro terrestre diametrale passante, un corpo di massa **m**, inizialmente fermo sulla superficie, risultando soggetto a una forza di richiamo proporzionale alla distanza dal centro: **(mg/R_T)r**, si comporta come un oscillatore armonico, accelerando fino al centro, quindi decelerando fino a fermarsi agli antipodi.

Infatti, assunta come origine degli assi il centro terrestre, essendo

$$\text{l'energia totale del corpo: } \frac{1}{2} mv^2(r) + \int_0^r \frac{mg}{R_T} r dr = \frac{1}{2} mv^2(r) + \frac{1}{2} \frac{mg}{R_T} r^2,$$

inizialmente, (**r = - R_T**; **v(-R_T) = 0**), pari a: **1/2 mgR_T**, agli antipodi, (**r = R_T**), la velocità deve nuovamente annullarsi, mentre per: **r = 0**,

annullandosi l'energia gravitazionale, si ha l'energia cinetica e quindi la velocità massima: $\frac{1}{2} m \mathbf{v}^2(0) = \frac{1}{2} m g R_T$, da cui: $\mathbf{v}(0) = \sqrt{g R_T}$.

Essendo la direzione della forza sempre diretta verso il centro, (negativa per \mathbf{r} positivo e positiva per \mathbf{r} negativo), l'equazione dinamica, in assenza di forze resistenti aerodinamiche, risulta:

$$m \frac{d\mathbf{v}(t)}{dt} = m \frac{d^2\mathbf{r}(t)}{dt^2} = -m \frac{g}{R_T} \mathbf{r}(t), \quad \text{ovvero:} \quad \frac{d^2\mathbf{r}(t)}{dt^2} + \frac{g}{R_T} \mathbf{r}(t) = 0, \quad \text{con}$$

velocità crescente per: $\mathbf{r} < 0$, e decrescente per: $\mathbf{r} > 0$.

La soluzione risulta: $\mathbf{r}(t) = \mathbf{c}_1 \cos \sqrt{\frac{g}{R_T}} t + \mathbf{c}_2 \sin \sqrt{\frac{g}{R_T}} t$, con condizioni iniziali: $\mathbf{r}(0) = \mathbf{c}_1 = -R_T$; $\mathbf{v}(0) = \left[\frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} \right]_{t=0} = \mathbf{c}_2 = 0$, da cui:

$$\mathbf{r}(t) = -R_T \cos \sqrt{\frac{g}{R_T}} t = -R_T \cos \sqrt{\frac{4}{3} \pi G d_{st}} t.$$

Si ottiene quindi un moto oscillatorio armonico lungo il foro con periodo: $\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{R_T}}} = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{4}{3} \pi G d_{st}}} = 5.065 \text{ s}$, (coincidente con il tempo di rotazione limite).

La velocità: $\mathbf{v}(t) = \frac{d\mathbf{r}(t)}{dt} = \sqrt{g R_T} \sin \sqrt{\frac{g}{R_T}} t$, oscilla da zero per: $t = 0$, raggiunge il massimo, ($\sqrt{g R_T} = 7.905 \text{ m/s}$, coincidente con la velocità orbitale di un corpo a quota nulla), per: $\sqrt{\frac{g}{R_T}} t = \frac{\pi}{2}$, ovvero:

$$t = \frac{1}{4} \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{R_T}}}, \quad (\text{un quarto di periodo}), \quad \text{e torna ad annullarsi per:}$$

$$\sqrt{\frac{g}{R_T}} t = \pi, \quad \text{ovvero:} \quad t = \frac{1}{2} \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{R_T}}}, \quad (\text{metà periodo}).$$

Nel comune impiego ingegneristico, accanto al prescritto e progressivamente egemonico **SI**, (di tipo **b**), resiste fra i precedenti il sistema tecnico, (**ST**), detto appunto anche "degli ingegneri", di tipo **a**). Nei due sistemi si assume lo stesso corpo, (in pratica il decimetro cubo di acqua), rispettivamente come campione di massa e di forza, (peso), e

le due unità assumono addirittura lo stesso nome: chilogrammo, **kg**, (più anticamente e tuttora nei sistemi britannici, le unità di massa/peso come libbre, once, corrispondono a pratiche quantità nominali di materia che è possibile contenere con le mani o con specifici recipienti).

La legge fisica: **peso = massa x accelerazione di gravità**, è indipendente, (come ogni altra legge fisica), da qualunque sistema di unità di misura impiegato per quantificarne le grandezze e pertanto, il litro d'acqua campione risulta avere:

	Sistema Internazionale, (SI)	Sistema Tecnico, (ST)
Massa	1 kg , (massa), per definizione;	1/9,81 , (unità non definita), per l'equazione di gravità;
Peso	1 x 9,81 = 9,81 N , per l'equazione di gravità.	1 kg , (forza), per definizione;

La innegabile razionalità del **SI**, inoltre, ha evidenziato, con un'unica unità di misura, (Joule), l'unicità, (I° Principio della Termodinamica), del concetto di energia. Tuttavia la suddetta unicità è del tutto formale in quanto diverse forme di energia possono distinguersi in maniera qualitativa, (II° Principio della Termodinamica), costringendo a reintrodurre la diversità anche nell'unità di misura con l'indicazione della natura, (termica o meccanica/elettrica), che ne quantifica le possibilità di impiego e trasformazione, o con la più precisa indicazione della relativa exergia.

In ogni caso il rigore non sempre è giustificato e comunque sapersi esprimere in più lingue, (se non altro per motivi storici e pratici), non è necessariamente un male, nè induce necessariamente a confusione.

In **Tab.I°.I.3.I**, si riportano i coefficienti di trasformazione delle principali unità di misura fra i sistemi tecnico, (**ST**), e internazionale, (**SI**), con l'avvertenza che a meno della definizione dei campioni di unità fondamentali, la corrispondenza fra le rispettive unità che contengono forza e massa è relativa unicamente all'accelerazione di gravità, mentre fra le unità energetiche di carattere calorimetrico e meccanico si ha la corrispondenza: **1 kcal = 4186,8 J**.

Tab.I°.I.3.I-Equivalenza fra le misure di alcune grandezze fisiche.

Grandezza:	Sistema Tecnico:	Sistema Internazionale:
Forza:	1 kg	9,8066 N

Pressione:	1 kg/cm ²	98.066 N/m ² (Pa) = = 0,981 bar (10 ⁵ Pa)
	1 atm =	
	= 1,033 kg/cm ² =	
	= 760 mmHg	101.33 Pa
	1 mmH ₂ O	9,8066 Pa
	1 mmHg	133,33 Pa
Energia:	1 kgm	9,8066 J
	1 kcal	4186,8 J
Potenza:	1 CV = 75 kgm/s	0,736 kW
	1 HP	0,7457 kW
	1 kcal/h	1,163 W
Densità:	1 (kg/g)/m ³	9,8066 kg/m ³
Peso specifico:	1 kg/m ³	9,8066 N/m ³
Volume specifico (peso):	1 m ³ /kg	0,102 m ³ /N
Volume specifico (massa):	1 m ³ /(kg/g)	9,8066 m ³ /kg
Calore specifico:	1 kcal/kg°C	4186,8 J/kgK
Coefficiente di conduzione:	1 kcal/hm°C	1,163 W/mK
Coefficiente di convezione:	1 kcal/hm ² °C	1,163 W/m ² K
Resistenza termica:	1 hm ² °C/kcal	0,86 m ² K/W.

Si nota anche come appaia curiosa e del tutto ingiustificata la diffusa abitudine di ritenere quasi come appartenenti a un certo tipo di unità di misura alcune grandezze fisiche, o a esprimersi con certe o certe altre grandezze solo ogniqualvolta ci si trovi in un particolare sistema di unità di misura, (massa nel SI, peso nel ST, densità nel SI, peso specifico nel ST), mentre le grandezze fisiche e le relazioni che le legano, sono del tutto indipendenti da qualunque sistema di unità di misura impiegato per quantificarne il valore e definirne i risultati.

Ciò che è essenziale a una corretta valutazione numerica quantitativa è, invece, solo la omogeneità dimensionale dei termini a confronto e la coerenza di impiego dei valori numerici delle variabili fisiche e delle costanti impiegate, ovvero la valutazione di tutti i valori in uno stesso sistema di unità di misura.

Infine ancora resistono unità appartenenti ai diversi sistemi di unità di misura britannici, (tradizionalmente anche in campo sportivo).

Per la massa/forza esiste la libbra, (pound), in più versioni di cui la principale, detta "avoirdupois", (avere del peso in francese), è pari a 0,45359237 kg e si divide in 16 oncie, (1 oz = 0,0283495231 kg), mentre per i metalli preziosi è di comune impiego il sistema "apothecaries" o "troy", in cui la libbra, (troy pond, abbreviata in lb ap

negli USA e lb apoth o lb UK in Inghilterra), è pari a 5.760 grains, (1 grain = 1/7000 di libbra), ovvero: $5.760/7000 = 0,82285714$ pounds avoirdupois = 0,3732417217 kg, di cui l'oncia, (apothecaries o troy), è 1/12, ovvero: 31,1034768 gr.

Il sistema apothecaries è relativo anche a unità di volume, con l'oncia, (fluida), che risulta pari a 1/16 di pinta a sua volta pari a 1/8 di gallone USA, ovvero: 0,02957353 lt.

Per la lunghezza si ha il piede o foot, (1 ft = 0,3048 m), il pollice o inch, (1 in = 1/12 ft = 0,0254 m), e la yard, (1 yd = 3 ft = 36 in = 0,9144 m), da cui le unità derivate: il poundal, (1 pdl = lb ft/s² = 0,138 N), per la forza, il pound square inch, (1 psi = lb-forza/in² = 6.894,76 Pa), per la pressione, il foot per poundal, (1 ft x pdl = 0,042 J), per l'energia, il cavallo vapore britannico, (1 hp = 550 lb-forza ft/s² = 0,7457 kW), per la potenza, mentre per le unità calorimetriche la British thermal unit, (Btu), è pari a: 1.055,56 J = 0,252 kcal.

